

ВЕСЦІ НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ № 4 2015
СЕРЫЯ ФІЗІКА-ТЭХНІЧНЫХ НАВУК

МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА

УДК 622.268.13

В. Я. ПРУШАК

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

*ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
Солигорск, Беларусь, e-mail: ipr@sipr.by*

Представлены результаты исследования взаимного влияния горных выработок Старобинского месторождения калийных солей на глубинах свыше 700 м. Установлено, что с увеличением глубины размер зоны взаимного влияния выработок возрастает. Расчет взаимовлияния выработок на больших глубинах предлагается выполнять по известной методике с предлагаемой поправкой величины эквивалентного пролета.

Ключевые слова: горные выработки, прочность пород, кровля, пролет, деформация, массив, замерная станция.

V. Ya. PRUSHAK

**REGULARITIES OF MUTUAL INFLUENCE OF MINE WORKINGS AT DEEP HORIZONS
OF THE STAROBIN DEPOSIT OF POTASH SALTS**

*Closed Joint Stock Company “Soligorsk Institute for Problems of Resource’s Saving
with Experienced Production”, Soligorsk, Belarus, e-mail: ipr@sipr.by*

Research results of mutual influence of mining workings of the Starobin deposit of potash salts at depths of over 700 m are presented. It is established that the size of zone of influence of excavations on each other rises with increasing depth. The calculation of workings interaction at great depths is considered to be performed using well-known methods with the proposed correction of size of the equivalent drift.

Keywords: mine working, the strength of the rocks, roof, width, deformation, rock mass, measuring station.

Введение. Условия отработки Старобинского месторождения калийных солей постоянно усложняются. В первую очередь это связано с увеличением глубины ведения очистных работ и заложения капитальных и вспомогательных выработок. Новые горно-геологические условия не всегда в должной мере отражены в действующих нормативных и методических документах по ведению горных работ. Опыта поддержания выработок на глубинах свыше 700 м недостаточно, в связи с чем требуются дополнительные исследования в этой области. Важная составляющая таких исследований – выявление закономерностей взаимного влияния выработок, заложенных на больших глубинах, что и является целью настоящей работы.

Результаты исследования и их обсуждение. Теоретическая основа исследования – результаты, полученные ранее специалистами ОАО «Белгорхимпром» и УП «Институт горного дела» (дочернее предприятие ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»), которые отражены в нормативных документах ОАО «Беларуськалий» [1].

Ранее установлено, что факторами, оказывающими действие на взаимовлияние выработок, являются их геометрические размеры, расстояние между ними или пространственное расположение выработок относительно друг друга, глубина, агрегатная прочность пород [1]. Взаимное влияние двух выработок распространяется на расстояние L_{\min} и зависит от глубины их заложения, агрегатной прочности пород, расстояния между ними, их геометрических размеров. Минимальное расстояние (L_{\min} , м), при котором отсутствует взаимовлияние для двух протяженных выработок с эквивалентными пролетами $b_{\text{эКВ}1}$ и $b_{\text{эКВ}2}$, составляет [1]

$$L_{\min} = K_L (b_{\text{экв1}} + b_{\text{экв2}}). \quad (1)$$

При первом типе кровли по классификации ОАО «Белгорхимпром» коэффициент K_L , учитывающий глубину разработки и тип кровли, может быть определен из эмпирической зависимости:

$$K_L = 0,0169 \times H - 4,154. \quad (2)$$

В случае влияния на выработку нескольких выработок используется принцип суперпозиции, т. е. все коэффициенты K_b , характеризующие увеличение смещения из-за влияния каждой выработки, перемножаются друг на друга либо умножаются на эквивалентный пролет одной из выработок, участвующий в окончательном расчете.

Для изучения влияния выработок друг на друга в одной из них устанавливали замерные станции (измеряли преимущественно конвергенцию стенок выработок) с шагом 3 м. Обычно в выработке устанавливалось до 15 замерных станций, особое внимание уделялось наличию станций, находящихся вне зоны влияния других выработок. На основании результатов замеров для каждой замерной станции определялось расстояние до влияющей выработки L_b и рассчитывался коэффициент увеличения смещений контура за счет влияния других выработок K_b :

$$K_b = \Delta U_{\text{бб}} / \Delta U_{\text{бб от}}, \quad (3)$$

где $\Delta U_{\text{бб}}$ и $\Delta U_{\text{бб от}}$ – соответственно конвергенция выработки на рассматриваемой замерной станции и на станции, находящейся вне зоны влияния других выработок.

На рис. 1 приведены результаты определения коэффициента K_b в конвейерной сбойке № 5, отходящей под углом 75° от выработок 2-й северной панели: транспортного, конвейерного, вентиляционного штреков и выработки складирования. Ширина междуштрековых целиков 10 м. Параллельно конвейерной сбойке проведена транспортная сбойка, целик между ними в районе узла сопряжения составляет 33 м. Глубина заложения выработок 755 м. В кровле конвейерной сбойки оставлена защитная пачка 0,25 м верхнего силвинитового слоя, кроме того, спустя 2 нед после проходки выработки в ней нарезана щель.

Для условий заложения замерных станций в конвейерной сбойке № 5 коэффициент $K_L = 0,0169 \times 755 - 4,154 = 8,6$.

Минимальное расстояние (L_{\min} , м), при котором две выработки шириной по 3 м (или эквивалентным пролетом $b_{\text{экв}} = 2$ м) на данной глубине не влияют друг на друга, составит [1]

$$L_{\min} = K_L (b_{\text{экв1}} + b_{\text{экв2}}) = 8,6(2 + 2) = 34,4.$$

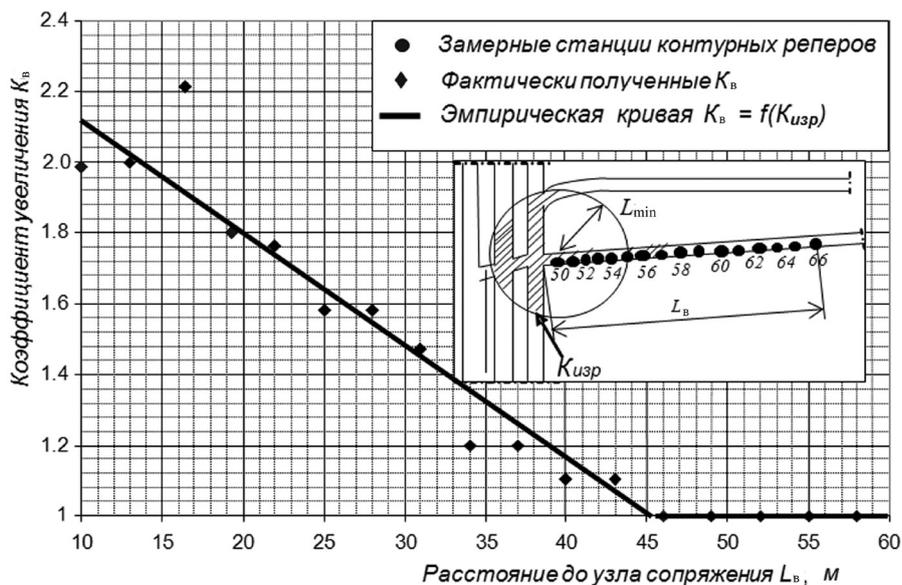


Рис. 1. Характер изменения коэффициента взаимного влияния выработок в конвейерной сбойке с удалением L_b от сопряжения с панельными выработками

Очевидно, что при таком целике транспортная сбойка будет незначительно влиять на конвейерную сбойку, что не принимается во внимание. Дальнейшее уменьшение целика между транспортной и конвейерной сбояками до 30 м отразилось на результатах замеров, что указывает на соответствие нормативной методики расчета [1] фактическому характеру взаимовлияния выработок.

Как видно из рис. 1, влияние группы штреков на конвейерную сбойку составляет 45 м. Решая обратную задачу, находим эквивалентный пролет группы выработок: $45 \text{ м} = 8,6 \times b_{\text{экв.гр}} + 8,6 \times 2 \text{ м}$. Откуда эквивалентный пролет группы выработок, определенный из натуральных замеров: $b_{\text{экв.гр}} = (45 - 8,6 \times 2) / 8,6 = 3,23 \text{ м}$.

При расчете с помощью [1] получим, что $b_{\text{экв.гр}} = 2,62$. Расхождение в фактическом и расчетном значениях $b_{\text{экв.гр}}$ может объясняться наличием компенсационных щелей в кровле конвейерной сбояки и панельных выработок, что не учитывают нормативные документы [1]. Очевидно, что, добавляя к эквивалентному пролету $0,5 h_{\text{щ}}$ (где $h_{\text{щ}}$ – глубина щели, м), мы получаем более похожие на реальное состояние параметры взаимовлияния выработок.

Коэффициент $K_{\text{в}}$ для участка конвейерной сбояки, находящегося вблизи узла сопряжения, составит $3,23 \text{ м} : 2 \text{ м} = 1,6$. Как видно из рис. 1, фактически $K_{\text{в}}$ вблизи узла сопряжения достигает значения 2,1. Однако из-за релаксации напряжений повышенные деформации вблизи узла сопряжения со временем снизятся, а значение скорости деформирования приблизится к расчетной величине. Участок конвейерной сбояки на удалении более 45 м от сопряжения деформируется как одиночная выработка. Если время устойчивого состояния транспортной и конвейерной сбоек с учетом охраны их щелью на протяженных участках составит 17 лет, то вблизи узла сопряжения оно снизится до 8–10 лет.

Следует отметить, что с увеличением глубины размер зоны взаимовлияния выработок возрастает: для технологической сбояки № 6, пройденной на глубине 800 м, это удалось определить по замерам на всех станциях при проходке от нее конвейерной сбояки на расстоянии 34 м. Величина L_{min} для двух выработок с эквивалентным пролетом 2 м и данной глубины составляет 37 м.

Очевидно, что взаимовлияние выработок может существенно осложнить их эксплуатацию, в связи с чем необходимо производить проверочный расчет времени устойчивого состояния выработок с учетом этого фактора. Однако расчет взаимовлияния выработок по методике [1] довольно трудоемкий. Сложность количественной оценки взаимовлияния горных выработок заключается в том, что при наличии более чем двух взаимовлияющих выработок расстояние L_{min} возрастает.

Несколько упростить расчет взаимовлияния выработок позволяет применение коэффициента изрезанности массива $K_{\text{изр}}$, под которым принято понимать относительный объем выработок, попадающий в шар радиусом L_{min} с центром в рассматриваемом сечении. При расположении выработок в одной горизонтальной плоскости шар можно заменить окружностью, а объем выработок – длиной их участков, попадающих в эту окружность. Определив суммарную длину данных выработок $\Sigma L_{\text{в}}$ с помощью отношения

$$K_{\text{изр}} = \Sigma L_{\text{в}} / 2L_{\text{min}}, \quad (4)$$

получим относительную протяженность выработок, влияющих на рассматриваемое сечение.

Между коэффициентом изрезанности $K_{\text{изр}}$ и коэффициентом $K_{\text{в}}$, характеризующим увеличение смещения из-за влияния соседних выработок, имеется тесная связь, которая в [2] аппроксимирована в виде следующей зависимости:

$$K_{\text{в}} = 1 / (1,11 - 0,11 K_{\text{изр}}). \quad (5)$$

На рис. 2 показан характер деформирования во времени участков конвейерной сбояки № 5, имеющих разную степень изрезанности массива близлежащими выработками. Значения коэффициента $K_{\text{в}}$, вычисленные для каждой из замерных станций с помощью формулы (3), также приведены на рисунке. Из него видно, что более интенсивная конвергенция стенок наблюдается на участках выработки, расположенных вблизи других выработок и сопряжений. Максимальный коэффициент $K_{\text{в}} = 2$ получен на участке выработки с $K_{\text{изр}} = 4$, что эквивалентно влиянию на него группы из четырех протяженных близкорасположенных выработок (с целиками до 5 м).

Влияние изрезанности массива на увеличение смещения контура выработок 2-й и 4-й северных панелей проиллюстрировано на графике рис. 3, совмещенном с результатами исследований [2]. Как видно из рисунка, новые данные удовлетворительно ложатся на кривую зависимости (5).

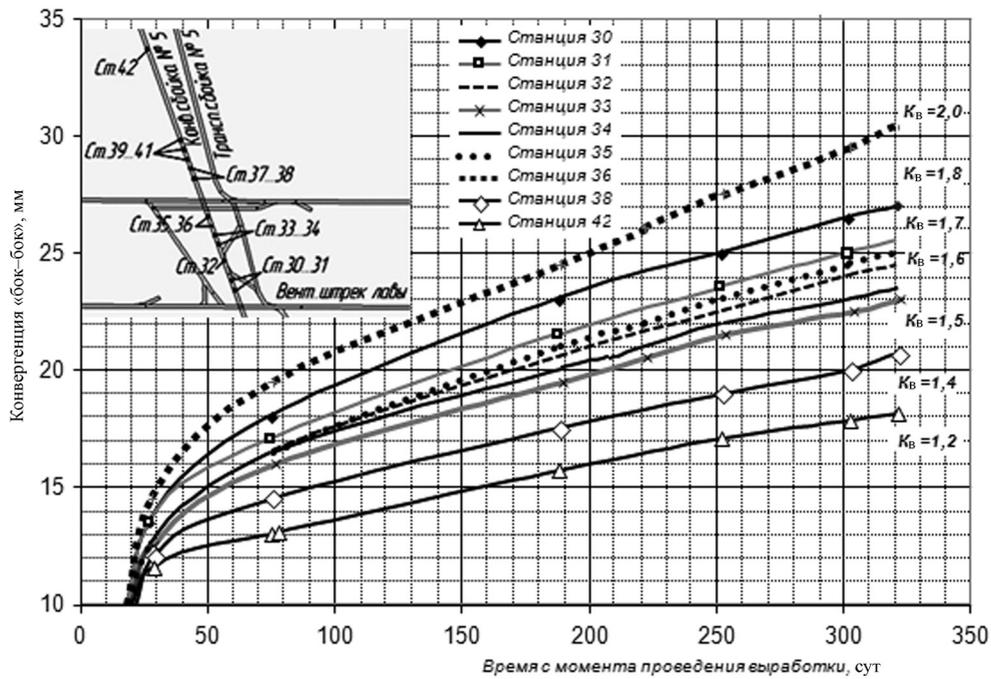


Рис. 2. Характер деформирования во времени участков конвейерной сбойки № 5, имеющих разную степень изрезанности массива близлежащими выработками

Однако такое совпадение получено нами только после того, как при расчете $K_{изр}$ и L_{min} эквивалентные пролеты выработок, в которых нарезались щели, увеличены на 0,5 м. При оценке взаимовлияния двух выработок, охраняемых щелями на глубине 750 м, радиус окружности L_{min} для определения $K_{изр}$ составлял: $L_{min} = K_L(b_{экв1} + b_{экв2}) = 8,6(2 + 0,5 + 2 + 0,5) = 43$ м.

Из анализа данных результатов исследований еще раз можно сделать вывод о необходимости увеличения эквивалентного пролета выработок, охраняемых щелями как минимум на 0,5 м.

Кроме наблюдений в протяженных выработках для изучения взаимовлияния велись наблюдения на участках выработок, имеющих большие пролеты. Изучение деформирования выработок с большим пролетом осуществлялось на 3 узлах сопряжений (станции 78, 87 и 90), расположенных в выработках 2-й северной панели и имеющих площадь обнажения кровли от 54 до 110 м².

Результаты замеров на станциях 78 и 87, установленных на узлах сопряжений выработки складирования 2-й северной панели, показали, что время их устойчивого состояния составит соответственно 13 и 26 лет. Разница объясняется тем, что камера разворота на станции 78 имеет существенно большую площадь обнажения кровли ($S > 80$ м²) и эквивалентный пролет ($L_{экв} = 5$ м), чем узел сопряжения ($S = 50$ м², $L_{экв} = 4$ м). Наиболее слабым элементом контура выработок с пролетом более 4,5 м является их кровля.

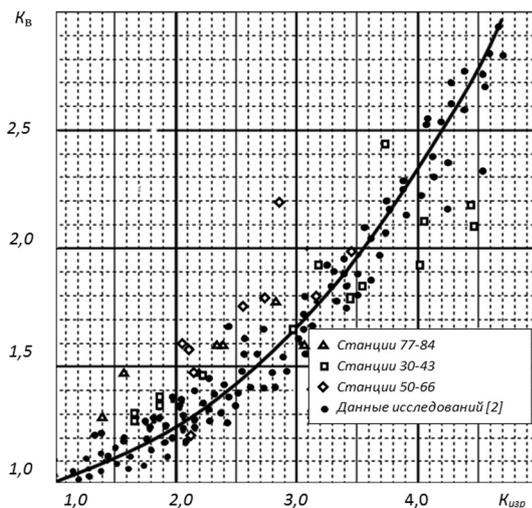


Рис. 3. Влияние изрезанности массива $K_{изр}$ на увеличение смещения контура выработок $K_{в}$ по результатам натурных наблюдений (станции 30–86)

Как показали результаты инструментальных наблюдений, деформирование кровли на самом широком участке узла сопряжений площадью 54 м² (его пролет достигает 6 м) происходит со скоростью, не превышающей скорость деформирования бортов. Однако при пролете более 6 м (камеры разворота) интенсивность деформирования кровли возрастает более чем в два раза. Очевидно, что на интенсивность деформирования кровли в камерах разворота

помимо увеличенного пролета (максимальный пролет 12 м, в средней части 6 м) влияет изрезанность массива близлежащими выработками.

На рис. 4 приведена выкопировка из плана горных работ 2-й северной панели гор. –440 м в районе камеры разворота. Данная камера расположена у транспортной сбойки № 4, выполняющей вентиляционные функции. Глубина заложения камеры 720 м. Она закреплена анкерами КАМВ по сетке 1×1 м. Кровля камеры находилась под защитной пачкой 0,2 м верхнего сильвинитового слоя, фактическая мощность ее защитной пачки составляла 17 см. Спустя несколько месяцев после оформления камеры ее кровля в центре прогнулась до 10 см, а по ее оси прошла трещина длиной до 8 м с раскрытием до 1–1,5 см. Часть хвостовиков винтовых анкеров в месте прогиба вдавлена. Как видно из рис. 4, к камере подходят 4 выработки, в местах сопряжений под острыми углами срезаны «утюги» до минимального целика 4–5 м. Площадь обнажения кровли камеры $S = 118 \text{ м}^2$, периметр камеры $P = 46 \text{ м}$.

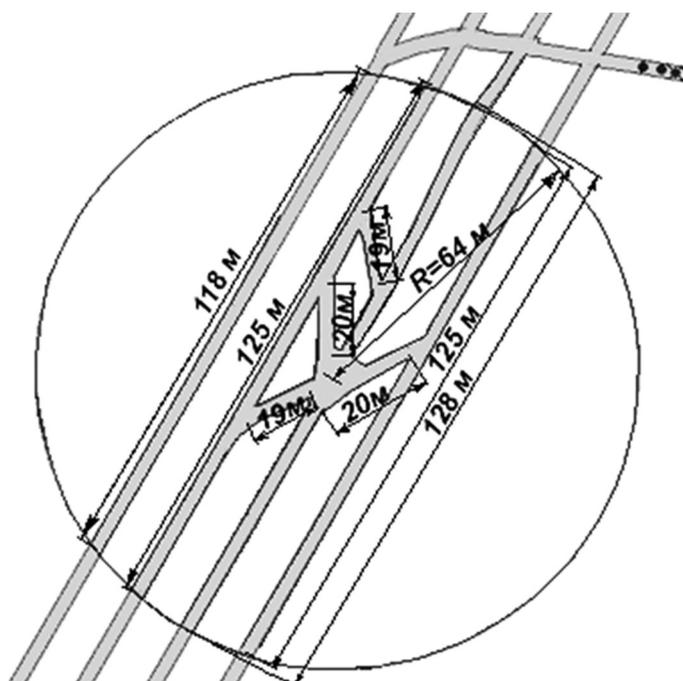


Рис. 4. Выкопировка из электронной версии плана горных работ гор. –440 м ГИС «MapManager» с примером определения с помощью инструмента «Измерение длин и углов»

Эквивалентный пролет камеры составит $b_{\text{эКВ}} = 2S/P = 2 \cdot 118 / 46 = 5,1 \text{ м}$. Поскольку близлежащие выработки представляют собой группу, то эквивалентный пролет каждой из них 2,5 м.

Рассчитаем расстояние L_{min} , на которое распространится влияние камеры на соседние выработки. Для условий заложения выработок из эмпирической зависимости (2), аппроксимированной для кровли I типа (по классификации ОАО «Белгорхимпром») определим K_L : $K_L = 0,0169 \times H - 4,154 = 0,0169 \times 750 - 4,154 = 8,52$. Тогда $L_{\text{min}} = K_L (b_{\text{эКВ}_1} + b_{\text{эКВ}_2}) = 8,52(5,1 + 2,5) = 64 \text{ м}$.

Коэффициент, учитывающий взаимное влияние выработок на камеру для указанных выше параметров, согласно [1], составляет $K_B = 1,3$. Аналогичный коэффициент для группы протяженных выработок $K_B = 1,3$. Расчеты показывают, что выработки, расположенные в непосредственной близости от камеры (в 10 м от нее), будут деформироваться примерно в 1,3 раза интенсивнее, чем на расстоянии от нее более 64 м.

Заключение. Исследованы закономерности взаимного влияния горных выработок на глубинах свыше 700 м в условиях Старобинского месторождения калийных солей. Установлено, что с увеличением глубины размер зоны взаимовлияния выработок возрастает, что указывает на необходимость учета данного фактора при определении времени устойчивого состояния выработок. Расчет их взаимовлияния необходимо выполнять с учетом коэффициента изрезанности массива $K_{\text{изр}}$. Величины коэффициента изрезанности массива $K_{\text{изр}}$ и минимального расстояния L_{min} , при котором выработки не влияют друг на друга, могут быть рассчитаны по известной методике [1], однако при этом необходимо увеличивать значение эквивалентного пролета выработок, охраняемых щелями, как минимум на 0,5 м.

Список использованной литературы

1. Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении. – Солигорск–Минск, 2009. – 120 с.
2. Мисников, В. А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных выработок калийных рудников в мелко-слоистых породах на больших глубинах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Мисников. – Солигорск, 1991. – 17 с.

Поступила в редакцию 25.05.2015